

XTE 1908+094 Adlı Kara Delik Adayı Sistemin X-ışını Tayf ve Zamanlama Özellikleri

Ersin Göğüş¹, Mark Finger², Chryssa Kouveliotou², Peter Woods², Sandeep Patel²

¹Sabancı Üniversitesi, MDBF, Orhanlı - Tuzla, 34956, İstanbul
ersing@sabanciuniv.edu

²National Space Science & Tech. Center, 320 Sparkman Dr. Huntsville, AL 35805 A.B.D.
Mark.Finger@nsssc.nasa.gov; Chryssa.Kouveliotou@nsssc.nasa.gov; Peter.Woods@nsssc.nasa.gov;
Sandeep.Patel@nsssc.nasa.gov

Özet: Kara delik sistemler, evrende varlığı dolaylı yollardan ispatlanmış en yoğun ortamlardır. Samanyolu galaksimizde bilinen tüm kesinleşmiş kara delik veya kara delik adayları objeler ikili yıldız sistemlerinde baş bileşen olarak yer alırlar. İkili sistemlerde zaman zaman meydana gelen madde akış karakteristiklerindeki değişimler sonucu parlama (patlama) evreleri gözlenmektedir. Burada 2002 yılı Şubat ayı içerisinde tarafımızdan keşfedilen XTE J1908+094 adlı yeni kaynağın X-ışını gözlemlerini kullanarak tayf ve zamanlama özelliklerini sunmaktayız. Bulgularımız bu yeni kaynağın kuvvetli bir olasılıkla bir kara delik adayları sistem olduğu yönündedir.

Anahtar kelimeler: kara delik sistemler, kara delik adayları sistemler – yıldızlar: XTE J1908+094

Abstract: Black hole systems are the densest environments in the Universe. Their existence was confirmed indirectly, but conclusively. All known confirmed and candidate black hole systems in the Milky Way are found in binary systems. The exhibit outburst episodes as a result of occasional changes in their mass accretion characteristics. Here we present X-ray spectral and timing properties of XTE J1908+094 which was discovered by our group in February 2002. Based on our findings we suggest that this new source is a black hole candidate.

Key words: black hole systems, black hole candidate systems – stars: XTE J1908+094

1. Giriş

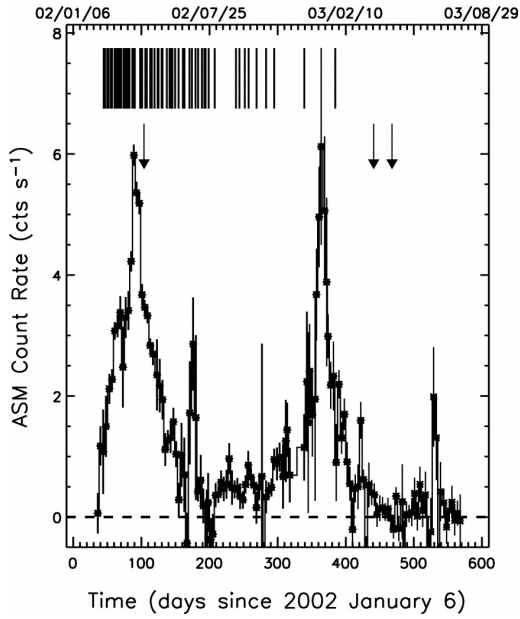
Kara delikler, kendilerine yakın bölgelerde kütle çekim kuvvetlerini çok büyük olduğu sistemlerdir. Bu kuvvet, kara deliğin olay ufku adı verilen yakınlarındaki alanlarda öyle büyük bir mertebededir ki ışık bile bu ortamdaki kütle çekim kuvvetine karşı koyamayarak kara deliğin derinliklerinde yerini alır. Bu nedenle bu sistemler “kara” olarak adlandırılır, çünkü bir kara delikten doğan hiçbir ışık uzaklardaki gözlemciye ulaşamaz.

Kara delikler, tıpkı beyaz cüce ve nötron yıldızlarının oluşumuna benzer şekilde, evrimini tamamlamış bir yıldızın çekirdeğinin kütle çekim etkisi ile çökmesi sonucu oluşurlar. Beyaz cüce ve nötron yıldızlarından farklı olarak, kara delikleri oluşturan evrimleşen yıldızın kütesinin yaklaşık 20 güneş kütesi veya daha üzerinde olması beklenir.

Bir sistemin kara delik olarak tanımlanması için kullanılan en etkin metod, sistemin optik gözlemler ile radyal hız eğrisi oluşturulup, 3. Kepler prensibi kullanılarak ikili sistemdeki baş yıldız için bir kütle fonksiyonu elde edilmesidir. Bu işlem sonucunda incelenen cisim elde edilen kütle güneş kütesinin üç katı veya daha büyük ise, bu cismin kara delik olması kesindir. Çünkü bu kadar kütle içeren nötron yıldızı bile oluşacak kütle çekimine karşı koyamaz. Şu anda galaksimiz Samanyolu’nda kara delik olması radyal hız metodu ile kesinleşmiş 18 kaynak bulunmaktadır. Bunlar arasında en çok duyulan Kuğu takım yıldızında bulunan Cygnus X1 / HD 226868 ikili sistemidir. Bu kaynaklara ek olarak galaksimizde 22 tane kara delik adayları sistem bulunmaktadır. Bunlar için radyal hız eğrisi yapılamamıştır. Bu nedenle ancak bilinen diğer özellikleri, kesinlikle kara delik olan sistemlerin özellikleri ile karşılaştırılarak sınıflandırma yapmak mümkün olmaktadır.

XTE J1908+094 patlama evresindeki bir geçici X-ışını kaynağı olarak Rossi X-ışını Zamanlama Kaşifi (RXTE) uydusunda bulunan PCA teleskobu

gözlemleri ile 19 Şubat 2002 tarihinde tesadüfen keşfedildi (Woods vd. 2002). Keşfi takiben yapılan optik gözlemler bu sistemin radyal hız eğrisinin, dolayısıyla cismin kütesinin elde edilmesine fırsat vermedi ancak yoldaş yıldızın K sınıfından daha yaşlı bir ana kol yıldızı olması üzerine ipuçları sundu (Chaty vd. 2002). Şekil 1 bu sistemin yaklaşık bir yıl içerisinde sergilediği patlama evrelerini göstermektedir.



Şekil 1. XTE J1908+094 kaynağının RXTE/ASM gözlemleri ile oluşturulmuş olan ışık eğrisi. Şeklin üst bölümünde bulunan her bir dikey çizgi o zamanda gerçekleştirilmiş olan RXTE/PCA gözlemini temsil etmektedir.

Bu çalışmada kaynağın 2002 yılında sergilediği ilk patlama evresinde gerçekleştirilen RXTE/PCA gözlemlerini kullanarak sistemin X-ışını tayf ve zamanlama özelliklerini incelemekteyiz. 2. Bölüm kısaca PCA enstrümanını ve yapılan X-ışını gözlemlerini özetlemektedir. 3. ve 4. Bölümlerde sırasıyla X-ışını tayf ve zamanlama analizleri sonuçları aktarılmakta, bu sonuçlar ışığındaki yargılarımız 5. bölümde sunulmaktadır.

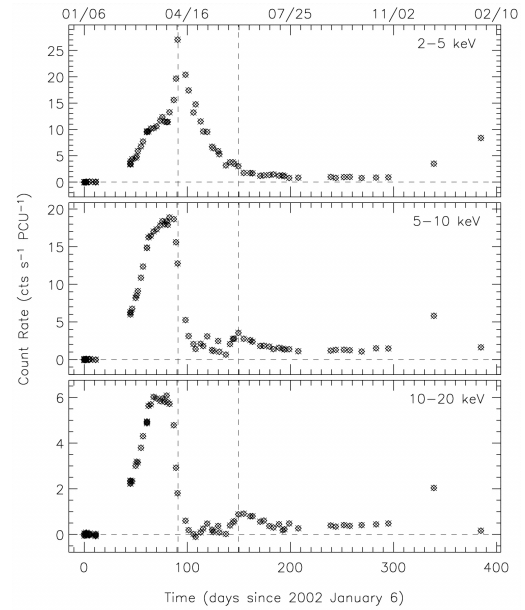
2. X-ışını verileri

RXTE uydusu üzerinde bulunan PCA cihazı 2–60 keV arası X-ışını fotonlarına duyarlı olan, oldukça geniş foton toplama alanına sahip, iyi denebilecek mertebede tayf çözünürlüğü ve çok hassas zamanlama çözünürlüğü yapabilen bir enstrümandır. XTE J1908+094 kaynağı 19 Şubat 2002 ile 31 Ocak 2003 tarihleri arasında 58 defa

gözlenmiştir. Bütün bu gözlemlerin toplan zamanı 110,400 saniyedir.

3. Işık Eğrileri

Şekil 2’de XTE J1908+094 sisteminin 2–5 keV, 5–10 keV ve 10–20 keV enerji aralıklarındaki ışık eğrileri gösterilmektedir. Patlama evresinin başlamasından sonraki 16 günde, az önce bahsedilen her üç enerji aralıklarındaki emisyon miktarları hızla ve birbirlerine benzer oranda artmıştır. Bunu takip eden yaklaşık 27 gün zarfında 2–5 keV ve 5–10 keV bandındaki emisyon daha yavaş mertebelerde artarken 10–20 keV bandı emisyonu artışını durdurmuştur.



Şekil 2. XTE J1908+094 kaynağının RXTE/PCA gözlemleri ile oluşturulmuş olan 2–5 keV, 5–10 keV ve 10–20 keV enerji aralıklarındaki ışık eğrisi.

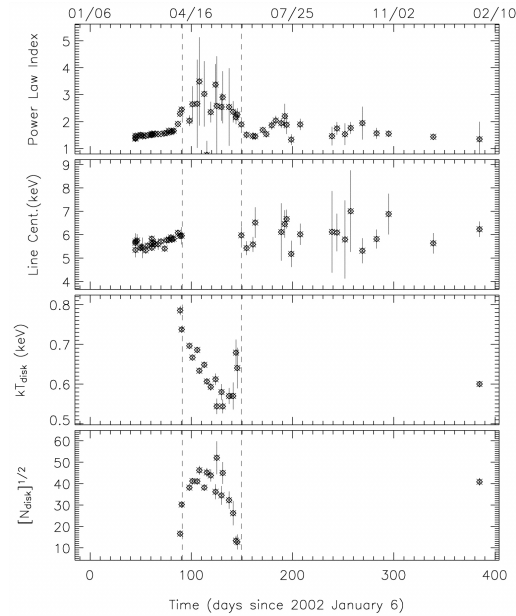
15 Nisan 2002’den başlayarak 2–5 keV bandındaki X-ışını emisyonunda yaklaşık 2.5 gün sürecek olan hızlı bir artış, 5–10 keV ve 10–20 keV enerji aralıklarında ise ani düşüş gözlenmiştir. Bu sistemde bir durum değişikliğinin olduğunun işaretçisidir. 2–5 keV bandındaki X-ışını artışı yaklaşık 30 günlük süre zarfında azalmıştır.

4. Tayf Analizi

Kara deliklerin X-ışını tayfı genellikle bir kara cisim ışıması (termal bileşen) modeli ile bir kuvvet kanunu (termal olmayan bileşen) modelinin toplamının oluşturduğu fonksiyon ile ifade edilebilir. Bu kombinasyonda kara cisim ışımasının, kara delik çevresinde oluşan madde akış diskinin iç taraflarından kaynaklandığı, kuvvet kanunu ışımasının ise diskten yayılan düşük enerjili X-ışını

fotonlarının, bu bölgeleri çevreleyen taçtaki yüksek enerjili elektron bulutundan geçerken ters Compton saçılması ile oluşabileceği tahmin edilmektedir. XTE J1908+094 kaynağının X-ışını tayfinin uygun modellenmesi için bahsi geçen iki bileşene ek olarak birde 5–7 keV aralığında geniş bir Gauss eğrisi modeli eklemiz gerekti. Bu durum diğer kara delik kaynaklarında da görülmekte ve demir (Fe) emisyon çizgisi olarak yorumlanmaktadır.

Şekil 3’de gerçekleştirilen X-ışını tayf analizi sonuçları görülmektedir. En üst panelden takip edilebileceği üzere, patlama evresinin başlangıç bölümünde kuvvet kanunu mertebesi 1.5 civarında iken durum değişikliğinin gerçekleştiği evreden itibaren 2.5–4 aralığında ölçülmüştür. Bu arada demir emisyon çizgisi ilk bölümde belirgin olarak 6 keV civarında ölçülürken durum değişikliği sonrasında gözlenemez duruma gelmiştir. Kara cisim ışıması ise başlangıçta gözlenmezken durum değişikliği ertesinde baskın olan bileşen olarak tayfa yerini almıştır.

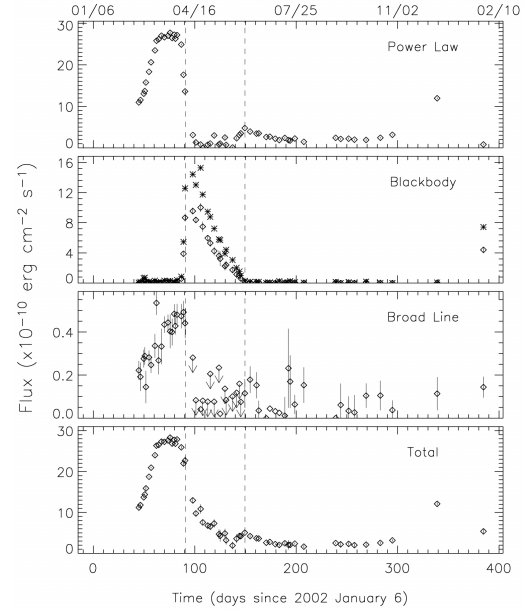


Şekil 3. RXTE/PCA ile gerçekleştirilen gözlemlerin X-ışını tayf analizi sonuçları.

Kullanılan kara cisim ışımasının genliği sistemi iç disk yarıçapı hakkında ipuçları sunmaktadır. X-ışını tayfında kara cisim ışımasının baskın olduğu evrede, bu modelin genliği yaklaşık olarak 40 civarındadır. Bunun fiziksel anlamı son bölümde aktarılacaktır.

Şekil 4’te XTE 1908+094 sisteminin X-ışını tayfını oluşturan bileşenlerin her biri için akı değişimi gösterilmektedir. Bundan da izleneceği gibi patlama

evresinin başlangıcında kuvvet kanunu modeli, durum değişikliği sonrasında bir dönem ise kara cisim ışıması modeli tayfın baskın elemanı olmuştur. Daha sonraki evrelerde kuvvet kanunu modeli baskınlığı tekrar ele geçirmiştir. Patlama evresinin başlarında gözlenen kuvvet kanunu akısı ile demir emisyonu akısının bağımlı değişimi dikkate değerdir.



Şekil 4. XTE J1908+094 sisteminin X-ışını tayfını oluşturan bileşenlerin akı değişimleri.

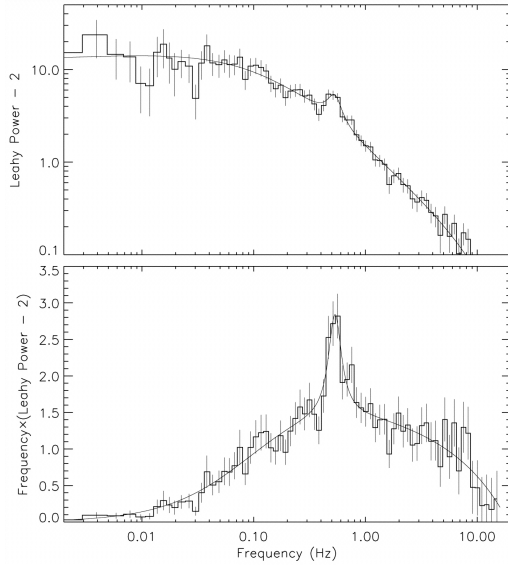
5. Zamanlama Analizi

Kara delik sistemlerde meydana gelen ve karakteristik özellikler taşıyan bazı olaylar, zamanlama analizi ile anlaşılabilir. Genel hatlarıyla zamanlama analizi şu şekilde yapılmaktadır. Öncelikle her X-ışını gözlem penceresi için (bunların her biri yaklaşık olarak 3000 saniye uzunluğundadır) 31.25 saniye zaman aralıklarına ve her birinin uzunluğu 512 saniye olan sahip birer ışık eğrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan her bir ışık eğrisinin Fourier dönüşümü gerçekleştirilmiş ve elde edilen Fourier katsayıları kullanılarak Fourier güç spektrumları hesaplanmıştır. Daha sonra her bir gözlem penceresi içindeki tüm Fourier güç spektrumlarının ortalaması hesaplanarak her gözlem için sonuç güç spektrumuna ulaşılmıştır.

Şekil 5’te XTE J1908+094 kaynağının RXTE/PCA X-ışını gözlemlerinden elde edilmiş örnek bir güç spektrumu sergilenmektedir. Burada Fourier zamanlama tekniği açısından vurgulanması gereken birkaç temel noktaya değinmek istiyoruz. Fourier güç spektrumundaki en yüksek frekans, kullanılan

ışık eğrisinin birim zaman aralıklarına ters orantılı olarak bağıntılıdır ($f_{\max} = (2\Delta t)^{-1}$). Ayrıca tamamı ile gelişigüzel Poisson sayma istatistiği uyumlu bir ışık eğrisi kullanılarak elde edilecek bir Fourier güç spektrumunda güç değerinin 2 civarında olması beklenir. Bu nedenle Şekil 5'te hesaplanan her bir güç değerinden 2 çıkarılmıştır.

Şekil 5'in üst panelinde görülen güç spektrumun düşük frekanslarında (<0.1 Hz), beyaz gürültü olarak anılan ve frekans ile değişim göstermeyen yapı gözlenmektedir. Daha yüksek frekanslarda ise (>0.1 Hz) kırmızı gürültü olarak adlandırılan ve frekans ile direkt ters orantılı değişim gösteren karakteristik özellik gözlenmektedir.

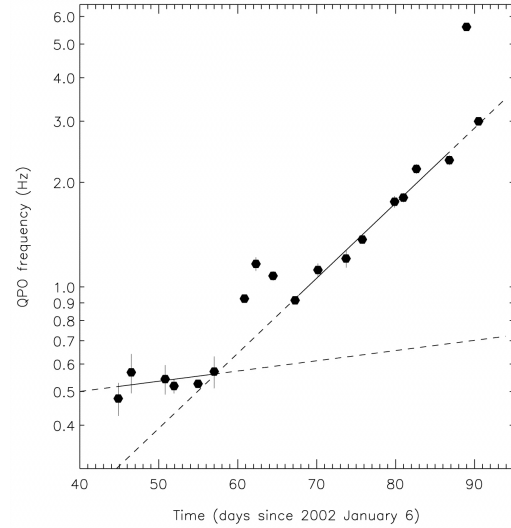


Şekil 5. XTE J1908+094 kaynağının RXTE/PCA X-ışını gözlemlerinden elde edilmiş örnek bir güç spektrumu.

Şekil 5'in alt paneli ise üstteki panelin farklı bir gösterebilir ve üst paneldeki her bir güç değeri ile bu güç değerleri ile bağıntılı frekans değerlerinin çarpımı ile elde edilmiştir. Bu tür bir gösterim güç gürültüsü arasında yer alan yarı düzenli salınımların daha kolay algılanabilmesini sağlamaktadır. Nitekim yukarıda görülen güç spektrumunun alt panelinde 0.5 Hz civarındaki yarı düzenli salınımlar çok daha kolayca algılanabilmektedir.

Zamanlama analizi çerçevesinde elde edilen her güç spektrumları en uygun modeller ile tanımlanarak güç spektrumunu oluşturan gürültü ve yarı düzenli salınımların genlikleri elde edilmiştir. Şekil 5'te her iki panelde de görülen eğimli çizgiler, bu güç spektrumuna en uyumlu modeli temsil etmektedir.

XTE J1908+094 sistemi patlama evresinin başlangıcını takip eden yaklaşık 40 gün süresince güç spektrumunda kuvvetli gürültü sergilemiş, bu gürültü yapısı sistem durum değişikliği evresine girince yok olmuştur. Bu tür davranış kara delik bulunduran ikili sistemlerin patlama evrelerinde yaygın olarak görülmektedir.



Şekil 6. XTE J1908+094 sisteminden gözlenen yarı düzenli salınımların frekansının zamana göre değişimi.

Şekil 6'da zamanlama analizi sonucu elde edilen yarı düzenli salınımların tepe frekanslarının zamana göre değişimi sunulmaktadır. Patlamanın başlangıç evrelerinde görülen yarı düzenli salınımların frekansı zamanla yavaş yavaş artan bir eğilim gösterirken 66. günden itibaren daha hızlı bir eğilimle artış gözlemlenmektedir. Bu iki farklı artış eğilimi arasında ise salınım frekansında hızlı bir zıplama ve takip eden bir düşüş görülmektedir.

6. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada yeni bulunmuş bir X-ışını kaynağı olan XTE J1908+094 sisteminin tayf ve zamanlama özellikleri incelenmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlara göre XTE J1908+094 sisteminin patlama evresinde, kara delik olması kesinleşmiş veya kara delik aday sistemlerinin sergilediği bazı tayf ve zamanlama karakteristiklerine benzer özellikler gösterdiğini bulduk. Bulgularımız XTE J1908+094 ikili sisteminin baş yıldız olarak büyük bir ihtimalle bir kara delik içerdiğini çağrıştırmaktadır.

Kara delik aday bir sistemin kesin olarak kara delik olduğunun söylenebilmesi için optik dalga boylarında yapılacak gözlemlerle ikili sistemin radyal hız eğrisinin oluşturulması ve bunun sonucunda baş yıldız için bir kütle saptamasının

yapılması gerekir. Bu şekilde kütle hesaplaması XTE J1908+094 sistemi için henüz gerçekleştirilmemiştir.

Bu sistemin X-ışını tayf analizinden patlama evresinin belirli bölümlerinde kendini belli eden kara cisim ışıması elde edilmiştir. Eğer bu kara cisim ışımasının baş yıldız etrafında oluşacak madde akış diskinin en iç bölgelerinden (baş yıldızın en yakın bölgelerden) kaynaklandığı varsayılırsa, kara cisim ışıması modelinin genliğinden bir iç disk yarıçapı değeri elde edilebilecek, bu yolla da dolaylı olarak baş yıldız kütle belirlenmesi yapılabilecektir.

Bahsi geçen durumu şu şekilde daha ayrıntılı bir şekilde açıklayabiliriz. Dönmeyen bir kara delik için kara delik olay ufğunun yarıçapı (R_G) yaklaşık olarak Schwarzschild yarıçapının ($R_S=3GM/c^2$) üç katına eşittir. Buna göre

$$R_G = 6GM/c^2 \quad (1)$$

olarak elde edilir. Bu mesafe bir gözlemcinin ışıma bekleyebileceği en içerdeki kararlı bölgenin yarıçapıdır. Bu arada tayf analizi için kullanılan kara cisim ışımasının genliği, ışımanın meydana geldiği bölgenin yarıçapı hakkında bilgi vermektedir. Başka bir deyişle

$$(N_{\text{disk}})^{1/2} = (R_{\text{km}}/D_{10\text{kpc}}) \cos^{1/2}\theta \quad (2)$$

olarak elde edilir. Burada N_{disk} kara cisim ışımasının genliği, R_{km} kilometre cinsinden disk yarıçapı, $D_{10\text{kpc}}$ 10 kpc biriminden sistemin

uzaklığı ve θ ikili sistem düzlem normalinin bakış doğrultusu ile yaptığı açıdır. Tayf analizi bölümünden N_{disk} değerinin yaklaşık olarak 40 olduğunu görmüştük. Eğer bu değer bir kara delik çevresinde bulunan diskin en iç kararlı yörünge yarıçapına karşılık geliyor ise yukarıdaki iki argümanı şu şekilde birleştirebiliriz;

$$R \sim 40 D_{10\text{kpc}} (\cos^{1/2}\theta)^{-1} = 6GM/c^2 \quad (3)$$

Bu yaklaşık eşitliği kara delik kütlesi, M için çözersek aşağıdaki yaklaşık kara delik kütlesi kestirimine ulaşabiliriz

$$M / M_{\odot} \sim 4.5 D_{10\text{kpc}} (\cos^{1/2}\theta)^{-1} \quad (4)$$

Buna göre disk düzlemi açısının değeri ne olursa olsun elde edilen baş yıldız kütlesi ancak bir kara deliğin sahip olacağı kütle mertebesindedir. Bu yaklaşım XTE J1908+094 kaynağının muhtemelen bir kara delik olduğu sunucunu desteklemektedir.

Ersin Göğüş, Türkiye Bilimler Akademisi'ne Genç Bilim İnsanlarını Ödüllendirme Programı (TÜBA-GEBİP) çerçevesindeki desteğinden dolayı teşekkürlerini sunar.

7. Kaynaklar

- Chaty, S, Mignami, R.P. ve Israel, G.L. 2002, MNRAS, 337, L23
Woods, P.M., Kouveliotou, C., Finger, M., Göğüş, E. vd. 2002, IAUC, 7856, 1